

Národní knihovna ČR

Ověřená technologie dezinfekce knih parami složek esenciálních olejů

Autoři technologie:

Neuvirt J., Volejníková A.

Národní knihovna ČR

Prosinec 2015

Technologie je výsledkem výzkumné činnosti v projektu NAKI DF11P01OVV028
„Ochrana knižního fondu a dokumentů aplikací esenciálních olejů“
řešeného v letech 2011-2015 financovaném Ministerstvem kultury ČR

Obsah

1. Úvod	3
2. Dezinfekční komora	3
3. Technologický postup dezinfekce	6
<i>Postup</i>	6
4. Ověření účinnosti dezinfekce knih parami EOS ve VVK	7
4.1. Ověření účinků dezinfekce pomocí laboratorních vzorků	8
4.2. Ověření účinků dezinfekce v komoře pomocí zkušební knihy	11
4.3. Ověření fungicidního účinku par EOS v komoře pomocí detekce ATP	13
5. Stav knih po dezinfekčním procesu	15
5.1. Vliv dezinfekce v komoře na optické vlastnosti papíru	15
5.2. Desorpce EOS a vlhkosti z hmoty knih	16
6. Závěr	17
7. Odkazy	18

1. Úvod

Předložená technologie je realizací výsledků výzkumu podmínek fungicidních účinků vybraných složek esenciálních olejů (EOS). Technologie byla vyvinuta pro aplikaci ve víceúčelové vakuové komoře (VVK), která je v majetku Národní knihovny ČR.

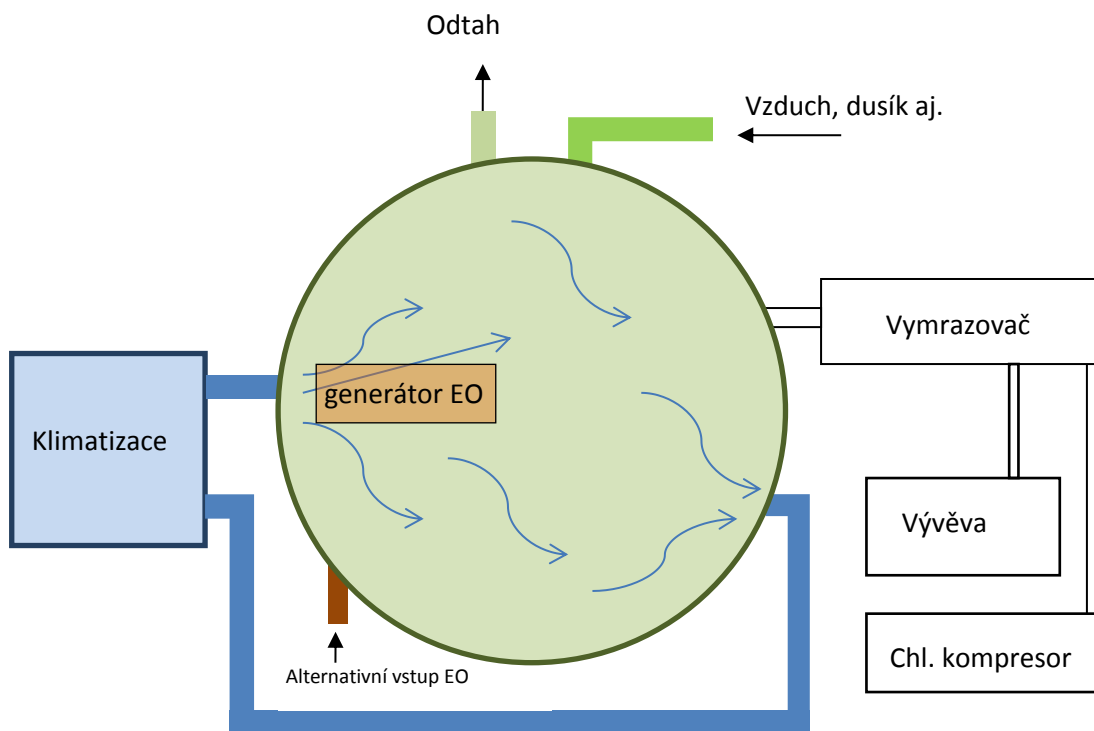
Vzhledem ke skutečnosti, že páry většiny EOS jsou těžší než vzduch a některé na vzduchu podléhají oxidaci za vzniku méně těkavých sloučenin, bylo nutné, aby v prostoru zařízení, kde budou aplikovány, atmosféra intenzivně cirkulovala, bylo možné v ní snížit případně zcela vyloučit obsah kyslíku a aby v tomto prostoru bylo možné udržovat potřebnou relativní vlhkost a teplotu. K tomu účelu byla výše zmíněná VVK v rámci výzkumného projektu NAKI *DF11P01OVV028 „Ochrana knižního fondu a dokumentů aplikací esenciálních olejů“* adaptována.

2. Dezinfekční komora

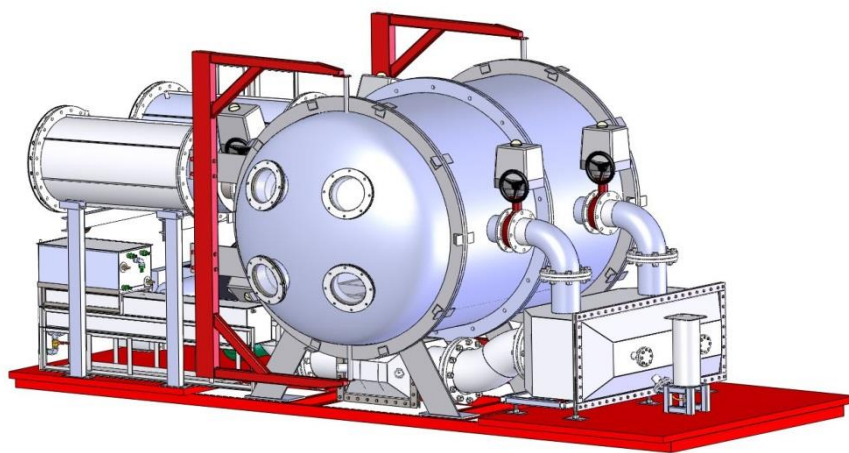
Skladba upravené VVK je schematicky znázorněna na obr. 1 a 3D náhled je na obr. 2. Byla postavena v Národní knihovně po povodních v roce 2002 na sušení vzácných dokumentů a knih. Umožňovala tři způsoby sušení – vakuové, v řízené atmosféře a lyofilizaci. Její součástí po adaptaci je **klimatizační systém hermeticky uzavřený vzhledem k vnějšímu prostředí**, který v komoře zajišťuje vytvoření a udržování atmosféry s požadovanými parametry teploty a relativní vlhkosti a je na obr. 1 vyznačen modrou barvou. Na klimatizační okruh komory je napojen generátor par složek esenciálních olejů (obr. 3), který je chráněn jako užitečný vzor /1/. Detailní popis úprav VVK je k dispozici na internetové stránce Národní knihovny /2/. K vývoji technologie byla využita metodika /3/.

Knihy určené k dezinfekci jsou ukládány do kontejnerů a vzájemně jsou odděleny **separačními deskami** tvořenými dvojicí nerezových děrovaných plechů, které vytváří mezi knihami mezeru pro volnou cirkulaci vnitřní atmosféry (obr. 4). Kontejnery jsou umístěny v komoře stejným způsobem jako při sušení knih. Na obr. 5 je pohled do nitra komory s jedním vloženým kontejnerem. V komoře může být při dezinfekci 11 až 16 kontejnerů v závislosti na velikosti knih. Každý kontejner pojme 10 až 15 knih v závislosti na jejich tloušťce. Při průměrné hmotnosti jedné knihy 400g hmotnost náplně knih v komoře se blíží 100kg. Jeden kontejner je vyhrazen na umístění generátoru par složek EO (obr. 3). O klimatizační systém a separační desky byla komora rozšířena v rámci výše zmíněného projektu NAKI.

Po naplnění komory knihami určenými k dezinfekci lze komoru včetně klimatizačního okruhu evakuovat a následně naplnit dusíkem. Po nastavení teploty a vlhkosti se spustí interní cirkulace atmosféry, která jednou větví prochází generátorem par používaných složek EO, které nasycují vnitřní atmosféru komory.

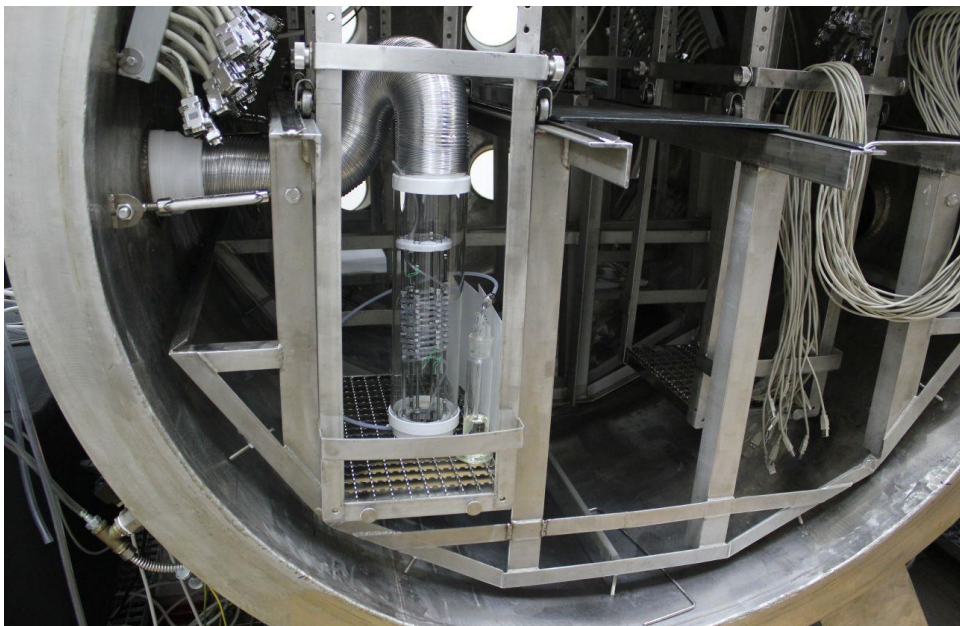


Obr. 1: Schéma uspořádání VVK k dezinfekci



Obr. 2: 3D náhled komory

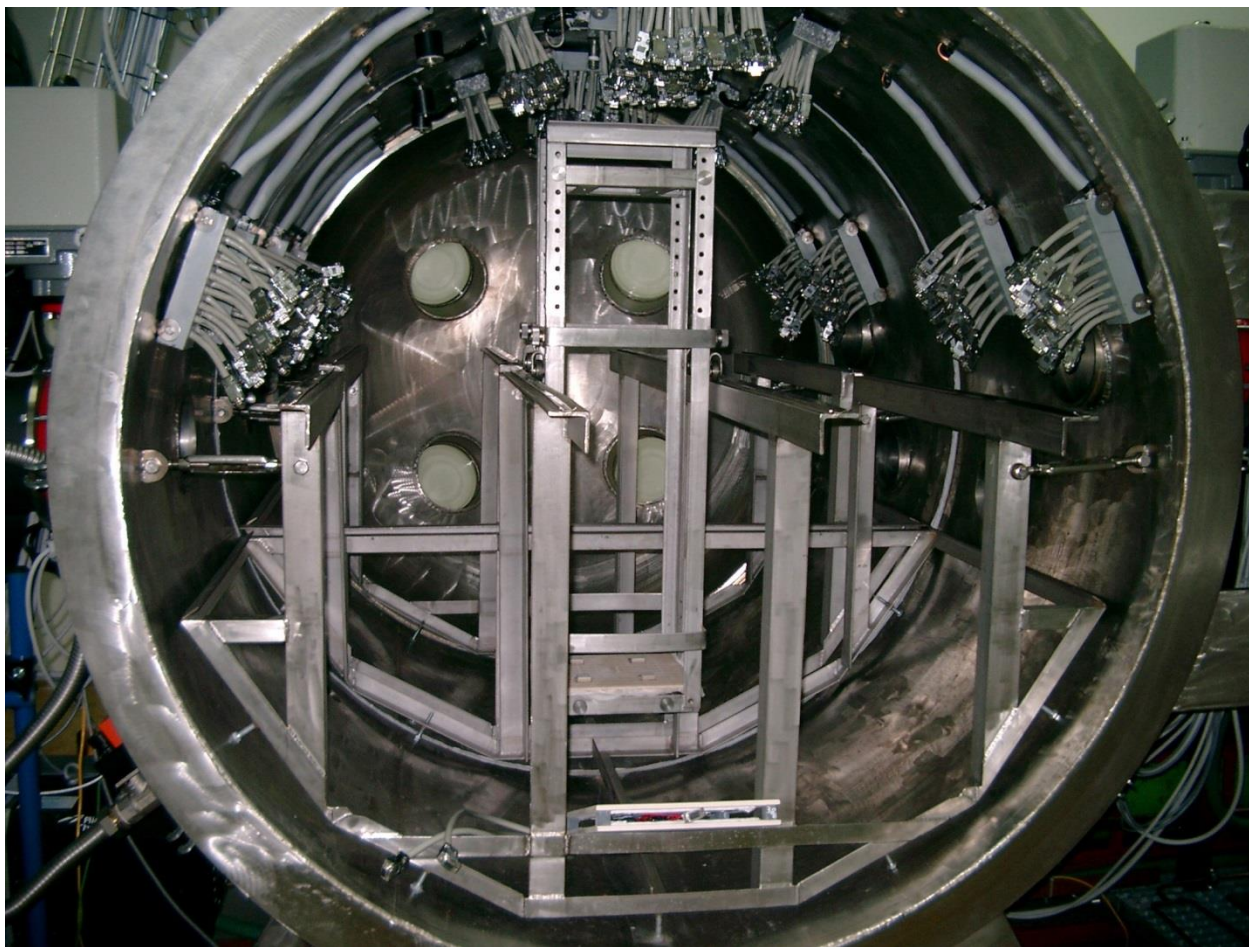
Ověřená technologie dezinfekce knih



Obr. 3: Generátor par složek EO připojený na klimatizační okruh ve vakuové komoře



Obr. 4: Uspořádání knih a separačních desek v kontejneru při dezinfekci



Obr. 5: Pohled do komory s vloženým jedním kontejnerem bez knih

3. Technologický postup dezinfekce

K dezinfekci knih ve víceúčelové vakuové komoře byl navržen postup (viz body a-n), který je vhodný k dezinfekci knih kontaminovaných prachem s velkým množstvím spor případně dalšími mikroorganismy, jako jsou bakterie. Pokud jsou knihy silně znečištěny, je vhodné předřadit mechanickou očistu knih.

Při dezinfekci knih porostlých živými plísněmi je nezbytné mít na paměti, že aplikace par EOS za těchto podmínek má velmi rychlý fungistatický efekt, ale zejména u odolných druhů (např. *Aspergillus brasiliensis*) dosáhneme v prakticky akceptovatelné době (dva týdny) jen částečného nikoliv totálního fungicidního efektu (viz níže).

Postup

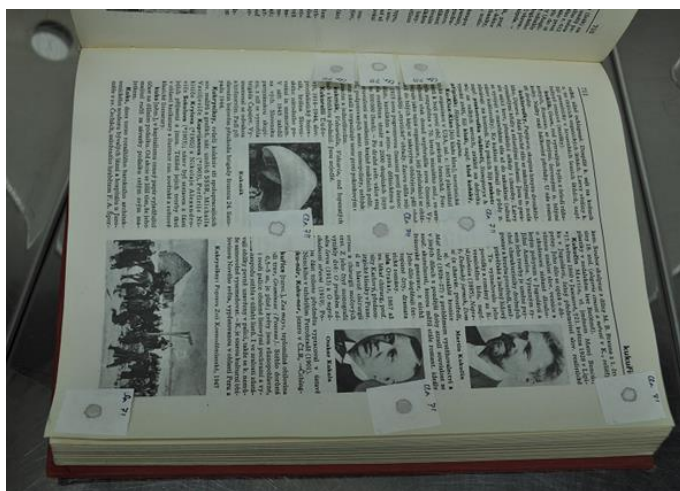
- a) Knihy určené k dezinfekci vložíme podle velikosti do příslušného kontejneru, proložíme separačními deskami pokrytými na obou stranách filtračním papírem, a umístíme do komory.
- b) Ke knihám přidáme signální knihu, která je inokulována sporama a slouží k posouzení účinnosti dezinfekce.
- c) Generátor par EOS naplníme dezinfekční směsí (citalral + linalylacetát 1:1 obj.).
- d) Na topnou dlaždici na dně komory umístíme nádobu s nasyceným roztokem NaCl jako zdroj vodní páry k dosažení a udržení požadované relativní vlhkosti 75%. Teplota povrchu dlaždice je nastavitelná od teploty okolí do 60°C. Do nádoby je možno doplňovat vodu z vnějšího prostředí pomocí peristaltického čerpadla. *(Při založení knih z prostředí o r.h. 40% bude potřeba, při hmotnosti knih 100 kg, až 7 kg vody k dosažení jejich rovnovážného obsahu vody v prostředí o r.h. 75%. Toto množství vody je nutné z nádoby s nasyceným roztokem NaCl odpařit.)*
- e) Po uzavření komoru a klimatizační okruh evakuujeme na tlak 35 mbar a poté klimatizační okruh odpojíme. Tento krok je důležitý pro rychlé dosažení nastavené relativní vlhkosti nejen ve vnitřní atmosféře komory ale i v knihách.
- f) Po dosažení relativní vlhkosti uvnitř knih vyšší než 65 % (u silné knihy kolem 950 stran asi 2 dny) připojíme klimatizační okruh (bez cirkulace!!) a v systému zvýšíme tlak na hodnotu alespoň 450 mbar připuštěním vzduchu nebo dusíku.
- g) Spustíme cirkulaci vnitřní atmosféry a z generátoru se začnou uvolňovat páry EOS a nasyčovat atmosféru v komoře.
- h) Nastavíme teplotu, při které bude probíhat dezinfekce (30 až 38°C).
- i) Po uplynutí dezinfekční doby (u plísni 14 dní) komoru otevřeme, odebereme vzorky ze signální knihy a knihu vrátíme do komory a komoru zavěme.
- j) Standardním postupem stanovíme účinnost dezinfekce podle metodiky /4/, nebo méně přesným, ale rychlým postupem pomocí bioluminiscenčního detektoru ATP (viz níže odst. 4.3).
- k) V případě, že by dezinfekce byla nedostatečná, je nutné v ní pokračovat od bodu g), v případě dezinfekce v dusíkové atmosféře od bodu e), po dobu odhadnutou na základě výsledku získaného v bodě j).
- l) Je-li dezinfekce účinná, odstraníme z komory nádobu s nasyceným roztokem NaCl a generátor par EOS a komoru přes vymrazovač evakuujeme. Tím dojde k snížení obsahu vody v knihách a částečnému odvětrání absorbovaných esencí. Vakuování přes vymrazovač chrání olejovou náplň vývěvy před kontaminací esencemi.
- m) Po dosažení požadované rovnovážné relativní vlhkosti atmosféry uvnitř knih (obvykle pod 50%), komoru zavzdušníme a knihy vyjmeme.
- n) Zbytkový obsah EOS se odvětrá během uložení knih v depozitáři.

4. Ověření účinnosti dezinfekce knih parami EOS ve VVK.

K ověření technologického postupu dezinfekce ve VVK NK ČR byla porovnána dezinfekční účinnost par EOS (konkrétně směsi citalralu a linalylacetátu) za různých podmínek. K testům se využívaly jak *standardizované laboratorní vzorky*, tak *zkušební knihy*.

Laboratorní vzorky byly připraveny ve formě malých vysterilizovaných nosičů spor z různých materiálů (sklo, filtrační papír, lepenka potažená plátnem), u kterých bylo možné kvantifikovat úbytek životaschopných spor po dezinfekci. U vzorků se sledoval vliv dezinfikovaného materiálu na účinnost dezinfekce, neboť se ukázalo, že papírové materiály vyžadují delší dobu dezinfekce než sklo.

Testování na **zkušebních knihách** sleduje průnik par a jejich účinek na různých místech knihy – deska, předsádka, listy u kraje, uprostřed. Na tato místa se kapala zkušební suspenze spor nebo zakládaly papírky se spory či rostoucí plísní.



Obr. 6: Ukázka rozložení vzorků spor v testovací knize

4.1. Ověření účinků dezinfekce pomocí laboratorních vzorků

Souhrnný přehled výsledků dezinfekce v komoře je uveden v následujících tabulkách (tab. 1 a 2). Jedná se o porovnání různých podmínek za využití třech druhů laboratorních nosičů spor (sklo, filtrační papír, lepenka potažená plátnem) volně uložených v komoře. Hlavními testovanými parametry byla relativní vlhkost atmosféry a složení atmosféry. Výsledky jsou uvedeny jako pokles životaschopnosti spor oproti kontrole (počet řádů) po době působení par EOS jeden týden (T1) a dva týdny (T2).

Tab. 1: Dezinfekční účinek par EOS v komoře plněné vzduchem

					Pokles živých spor (řády) po expozici jeden (T1) a dva (T2) týdny		
označení testu	počet testů	plíseň	relativní vlhkost	teplota (°C)	sklo	papír	lepenka

Ověřená technologie dezinfekce knih

				(%)		T1	T2	T1	T2	T1	T2
KOM _v	5 testů	Ab	vysoká	70-75	27/ 37		3,7	1	2,4	2,5	2,9
							± 0,7		± 1,3	± 0,7	± 1,8
KOM _v	5 testů	Pa	vysoká	70-75	27/ 37	4,7	5,4	5,3	5,7	4,5	5,8
						± 0,8	± 0,3	± 0,4	± 0,5	± 1,4	± 0,3
KOM _s	1 test	Ab	nízká	40-50	27	0					
KOM _s	1 test	Pa	nízká	40	27	0,4	0,1				

Tab 2: Dezinfekční účinek par EO v komoře plněné dusíkem

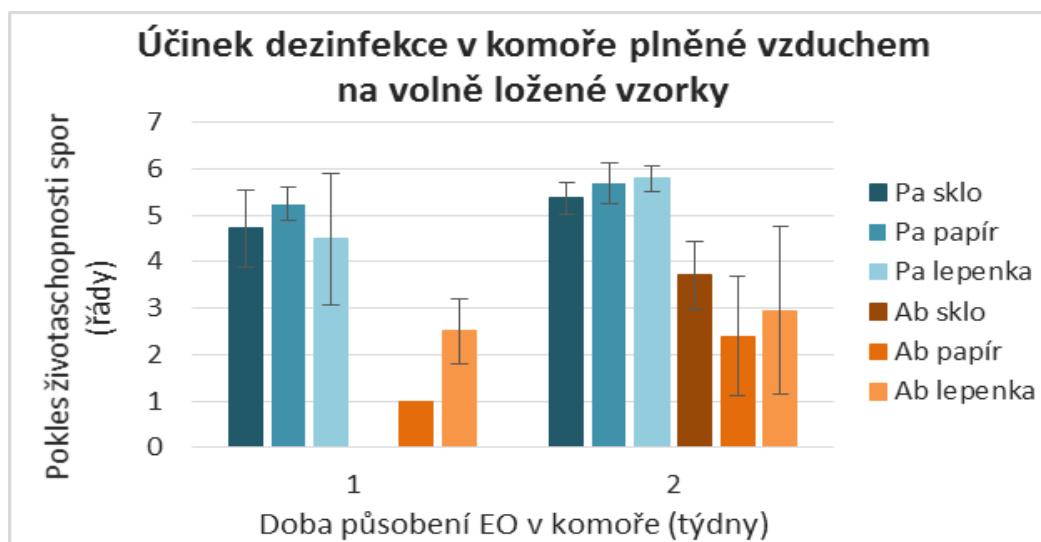
						Pokles živých spor (řády) po expozici jeden (T1) a dva (T2) týdny					
označení testu	počet testů	plíseň	relativní vlhkost		teplota (°C)	sklo		papír		lepenka	
				(%)		T1	T2	T1	T2	T1	T2
KOM _{N2v}	4 testy	Ab	vysoká	70 - 80	27/ 37	3,1	3,8	0,5	1,8		
						± 0,8	± 0,5	± 0,7	± 1,1		
KOM _{N2v}	4 testy	Pa	vysoká	70 - 80	27/ 37	5,5	6,0	3,5	4,8	4,5	5,5
						± 0,6	± 0,9	± 3,5	± 1,3	± 0,7	± 0,7
KOM _{N2s}	1 test	Ab	nízká	28	28		0,8		0		1
KOM _{N2s}	1 test	Pa	nízká	28	28	0,2	0,1	0	0	0	0

Základní doba trvání dezinfekce byla **2 týdny**, pro tento odběrový čas jsou výsledky ze všech standardně proběhlých testů. V některých testech byly vzorky odebírány již po 1 týdnu dezinfekce, ale není to pravidlem. Ukázalo se totiž, že u plísně *P. aurantiogriseum* dochází během 1. týdne k zahubení většiny spor, ale plíseň *A. brasiliensis* potřebuje k zahubení delší dobu působení par EOS. Ve všech testech byl kvantifikován úbytek živých spor na sklíčkách, protože tento citlivý a reprodukovatelný postup je používán k vyhodnocení dezinfekčního účinku na pevných površích.

Důležitým závěrem ověřování dezinfekce v komoře je, že se potvrdily výsledky získané během laboratorního vývoje metody, že **relativní vlhkost hraje klíčovou roli**. Pokud je v komoře během dezinfekce parami EOS sušší prostředí (vzduch nebo dusík do RV 50 %), je

dezinfekční proces prakticky neúčinný. Naopak ve **vlhkém prostředí** (vzduch nebo dusík se 70-80 % RV) je **dezinfekce** parami EOS **účinná**. Je to proto, že při vyšších relativních vlhkostech spory plísni začínají interagovat s okolím, tedy i s parami EOS.

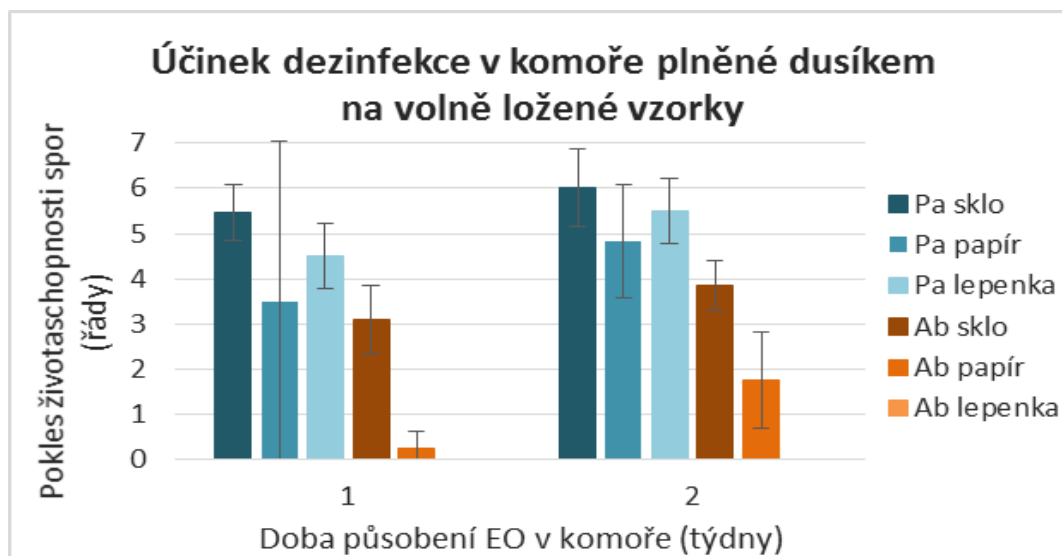
Výsledky ověření dezinfekce za vyšších relativních vlhkostí atmosféry v komoře jsou přehledně uvedeny v následujících grafech (obr. 7 a 8).



Obr. 7: Dezinfekční účinek par EOS v komoře naplněné vlhkým vzduchem (RV 75 %)

Z dat vyplývá, že při intenzivním působení par v komoře (vysoká koncentrace a důkladná ventilace) není po dvou týdnech velký rozdíl v dezinfekci spor ukotvených na různých typech papírových nosičů (na tenkých papírcích a tlustých lepenkách). Zatímco v laboratorní testovací lince se doba dezinfekce u lepenek prodloužila o 2 – 4 týdny, tak v komoře jsou výsledky srovnatelné u *P. aurantiogriseum* již po 1 týdnu a u *A. brasiliensis* po 2 týdnech.

Dezinfekce v **komoře naplněné dusíkem o RV 75 %** dávala pro vzorky na sklíčkách velmi podobné výsledky. Na základě těchto výsledků ale i možnosti zamezení oxidace citralu při styku se vzduchem jsme jako nejvhodnější podmínky pro dezinfekci knih zvolili komoru plněnou zvlhčeným dusíkem (o RV 75 %). Takto byla provedena dezinfekce várky cca 50 kg knih a sledovalo se ovlivnění podmínek v komoře a účinnosti dezinfekce přítomností velkého množství knih a dále ovlivnění knih dezinfekčním procesem. K vyhodnocení dezinfekčního účinku par byla použita zkušební kniha se všemi druhy vzorků a sada laboratorních vzorků na různých nosičích uložených mimo knihy.



Obr. 8: Dezinfekční účinek par EO v komoře naplněné vlhkým dusíkem (RV 75 %)

4.2. Ověření účinků dezinfekce v komoře pomocí zkušební knihy

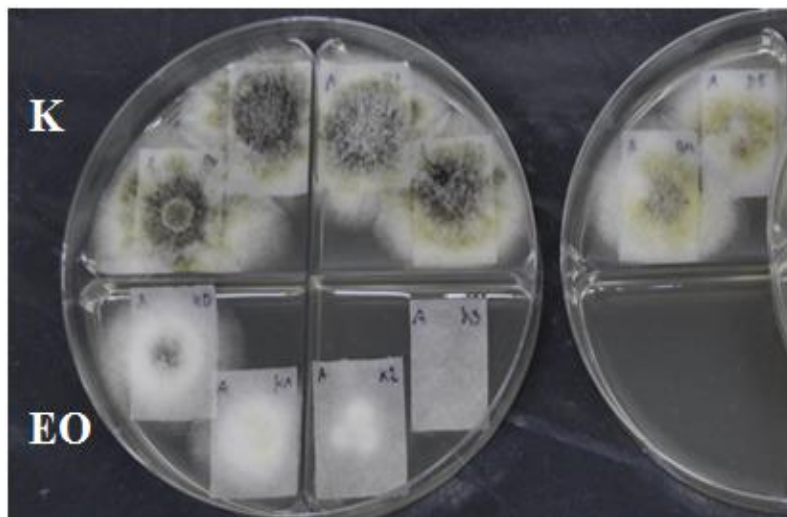
Do zkušební knihy byly na definovaná místa založeny papírové vzorky se sporami či již rostoucí plísní anebo byly spory nakapány rovnou na listy a desky knihy. Vzorky byly připravovány zavedeným postupem tak, aby na každém bylo přibližně 10^5 spor. Dezinfekce se v tomto případě mohla projevit tak, že buď došlo totální likvidaci spor a růst na papírku byl po přenosu na agar negativní, nebo došlo k redukci živých spor, která měla za následek opoždění růstu plísně na daném papírku.

Z desek knih byly spory stírány sterilním tamponem, přeneseny na agar a jejich růst byl porovnáván s neošetřeným vzorkem. Jinou variantou bylo setření spor tamponem vyvinutým k detekci živých buněk pomocí bioluminiscenční analýzy (odst. 4.3). Jedná se o velmi rychlou ale méně přesnou metodu.

Výsledky vzorků ze zkušebních knih odpovídaly volně loženým vzorkům v tom, že u plísně *P. aurantiogriseum* bylo možné dosáhnout totálního zahubení spor i uvnitř tlusté knihy, zatímco u *A. brasiliensis* docházelo zpravidla jen k redukci počtu živých spor či jejich

silnému poškození, které se projevovalo opožděným vyklíčením a růstem plísně (po přenesení na sladidlový agar), u papírových nosičů i v redukcí počtu přežívajících spor u stěrů. Důvodem je delší čas potřebný k penetraci EOS a vlhkosti do nitra knihy.

Aby mohla být redukce spor přibližně kvantifikována, byla v některých testech do knih místo vzorků s výše uvedeným konstantním počtem spor zakládána celá sada papírků s koncentrační řadou spor /4/ („Metodika stanovení fungicidních účinků par esenciálních olejů a jejich složek na spory plísní na různých substrátech“ předložená k certifikaci). Obrázek 9 níže ilustruje výsledky jednoho z těchto testů s odolnými spory *A. brasiliensis*.



Obr. 9: Kvantifikace úbytku živých spor *A. brasiliensis* po dezinfekci parami EOS pomocí komplexního testu spor na papírovém nosiči.

V prvním řádku je šest papírových nosičů kontrolního vzorku s dekadicky klesajícími koncentracemi aplikovaných spor (přibližný počet nanesených spor na 1. nosič zleva je 10^6 a na každý další o řád méně, takže na 6. nosiči je 10^1 spor). V druhém řádku je vzorek dezinfikovaný, který byl připraven stejným způsobem (přibližný počet nanesených spor na 1. nosič zleva je 10^6 , na 4. nosič 10^3 spor). Porovnáním růstu plísní na nosičích obou vzorků zjistíme přibližný pokles počtu živých spor při dezinfekci parami EOS, v tomto případě pokles o tři řády.

Snímek byl pořízen po třech dnech kultivace při 25°C , kdy dosahuje růst kontrolního vzorku maxima, plíseň je rozšířena po velké ploše nosiče a má ve velkém počtu vyvinuté spory. Vzorek z par EOS, který reprezentuje pokles životaschopnosti spor o 3 řády, má opožděný vývoj plísně a v tomto okamžiku tvoří spory pouze na 1. nosiči, kam byla aplikována nejvyšší koncentrace spor. Ale po dalších zhruba 2 dnech kultivace se vyvine plíseň na všech nosičích, kde přežily spory, podobně jako je tomu teď v prvním řádku u kontrolního vzorku.

Na následujícím snímku (obr. 10) jsou výsledky obdobného testu, u kterého byly však spory nakapány přímo na listy knihy. Kontrolní vzorky jsou opět silně narostlé a sporulující. U vzorků z esencí je vidět rozdíl mezi plísněmi. U *P. aurantiogriseum* není vidět žádný růst

plísň na papírcích z knihy, to odpovídá poklesu počtu životaschopných spor přibližně o 6 řádů. Kdežto u *A. brasiliensis* přežívají v jednom případě dvě nejvyšší koncentrace (vzorek v horní části misky, který se nacházel na kraji stránky dezinfikované knihy), to odpovídá poklesu počtu životaschopných spor přibližně o 4 řády. V druhém případě nárůst na vzorcích odpovídá poklesu počtu životaschopných spor přibližně o 2 řády (vzorek v dolní části misky, který se nacházel uprostřed stránky dezinfikované knihy). U přeživších spor je vývoj oproti kontrole silně opožděn.



Obr. 10: Test s výstřižky z knihy. V horní části snímku je kontrola a dva vzorky plísně *A. brasiliensis*, v dolní části snímku kontrola a dva vzorky plísně *P. aurantiogriseum*. Na každé sadě 4 nosičů byly naneseny přibližné počty spor 10^6 , 10^5 , 10^4 a 10^3 (zleva).

4.3. Ověření fungicidního účinku par EOS v komoře pomocí detekce ATP

Jedná se o velice rychlou metodu, která určí míru kontaminace povrchů živými mikroorganismy. Metoda je založena na poznatku, že všechny živé buňky obsahují molekuly

adenosin trifosfátu (ATP), které jsou naprosto nezbytnou součástí jejich metabolismu. Naopak v odumřelých buňkách dochází k rychlé degradaci všeho ATP.

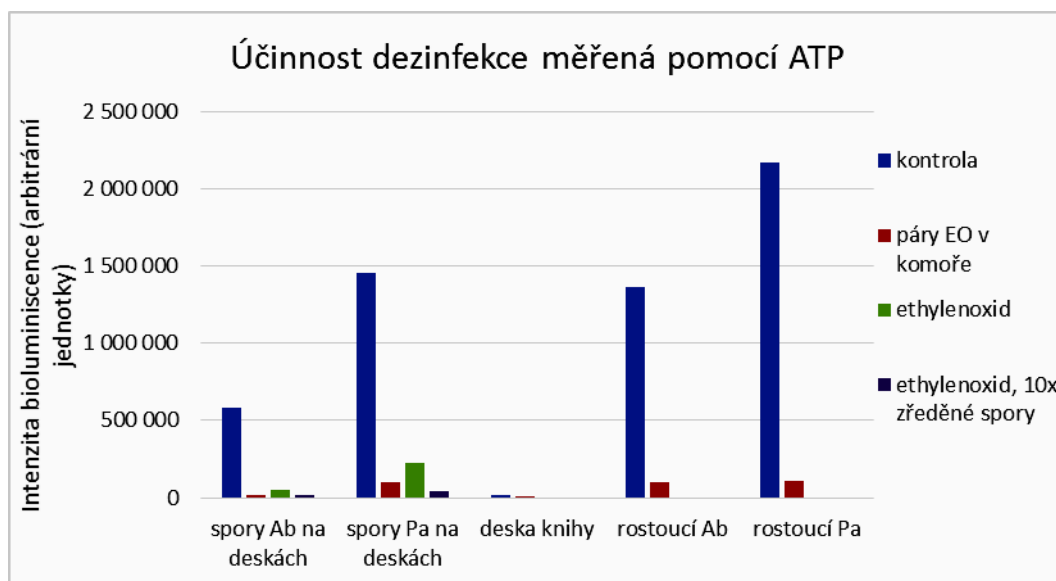
Vlastní měření probíhá tak, že použitý stěrový tampon je vložen do speciální sondy, v níž je obsažena kapalná extrakční směs sloužící k extrakci ATP z buněk. V této směsi je také enzym luciferáza, který reaguje s ATP za současného vyzáření fotonů. Ty jsou zachyceny bioluminiscenčním detektorem. Intenzita luminiscence je měřítkem množství živých buněk ve stěru. K analýze byl použit bioluminiscenční detektor Firefly 2 (Charm Sciences, USA) a stěrové tampony Pocket Swab Plus (Charm Sciences, USA). Pro zjišťování kontaminace knih se jedná pouze o orientační stanovení, neboť u plísní je obtížnější extrakce ATP z buněk a spor a metoda není tak přesná jako u bakterií. Metoda slouží obvykle pro kontrolu mikrobiálního znečištění povrchu v potravinářských provozech.

Pro detekci živých spor pomocí ATP byla na desku zkušební knihy nakapána koncentrovaná zkušební suspenze spor plísní *A. brasiliensis* a *P. aurantiogriseum*. Po zaschnutí kapek byla kniha překryta filtračním papírem a vložena do komory na dezinfekční cyklus o délce 3 týdnů. Po dezinfekci byly spory setřeny stěrovými tampony Pocket Swab Plus a byla změřena intenzita luminiscenčního signálu. Jako kontrola sloužila kontrolní kniha, která byla připravena ve stejnou dobu a stejným způsobem jako zkušební kniha a byla následně uložena v laboratoři bez přístupu par EOS. Pro porovnání účinnosti dezinfekce byla připravena ještě jedna zkušební kniha, která prošla standardní dezinfekční procedurou v etylénoxidu a Národním archivu ČR. Výsledky jsou shrnuty v tabulce 3 a na obr. 11.

Tab. 3: Intenzita bioluminiscenčního signálu testovacích spor na deskách knihy (relativní jednotky)

	Kontrolní vzorek	Dezinfikovaný vzorek z komory	Poměr dezinfikovaný/kontrolní vzorek	Dezinfikovaný vzorek ethylenoxidem
Ab - vysušené spory na deskách	583 000	20 000	3 %	54000
Pa - vysušené spory na deskách	1 450 000	100 000	7 %	221000
deska knihy - pozadí	13 500	3 000	22 %	--

Dezinfekční proces v komoře způsobil asi dvacetinásobný pokles intenzity signálu ATP. Mezi koncentrací spor a intenzitou signálu není však v rozsahu všech používaných koncentrací (10^1 až 10^6 spor/ml) lineární závislost, má spíše sigmoidní tvar a úbytek živých spor byl výrazně vyšší než 1 řád.



Obr. 11: Luminiscenční signál charakterizující počet živých spor ve vzorcích

Dezinfekce knih parami EOS a ethylenoxidem byla podle detekce ATP obdobně úspěšná. Pro kontrolu jsme však výsledky ověřili kultivační technikou, která ukázala, že *P. aurantiogriseum* bylo oběma postupy zcela zahubené. Avšak výsledky pro vysoce odolnou plíseň *A. brasiliensis* se lišily. Pomocí par EOS došlo na papírových nosičích k zahubení spor o 2 – 3 řády, zatímco ethylenoxid způsobil jejich likvidaci (o 5 – 6 řádů).

5. Stav knih po dezinfekčním procesu

Po skončení dvoutýdenního dezinfekčního procesu podle odst. 3 byla u knih změřena změna barevnosti a sledována rychlost desorpce EOS a vlhkosti z hmoty knih během uložení volně v místnosti.

5.1. Vliv dezinfekce v komoře na optické vlastnosti papíru

Vliv dezinfekční technologie na optické vlastnosti papíru v knihách a papíru volně uloženého v různých částech prostoru komory byl ověřen následovně. Před dezinfekcí byly z každé testované knihy a volně uloženého papíru odebrány srovnávací vzorky. Z knih byla vyjmuta část určitého tiskového archu a z volně uloženého papíru část z každého listu. Tyto vzorky byly uloženy mimo komoru. Po dvoutýdenním dezinfekčním procesu podle odst. 3 byly změřeny barevné souřadnice CIE Lab u papírů po dezinfekci a u odpovídajícího srovnávacího vzorku. Výsledky uvedené v tabulce 4 ukazují, že změny barevnosti ΔE způsobené dezinfekčním procesem se pohybují na hranici postřehnutelnosti. Nicméně je zřejmé, že papír, který je v přímém kontaktu s dezinfekční atmosférou v komoře, je více ovlivněn.

Tab. 4: Změna barevnosti papíru po dezinfekci

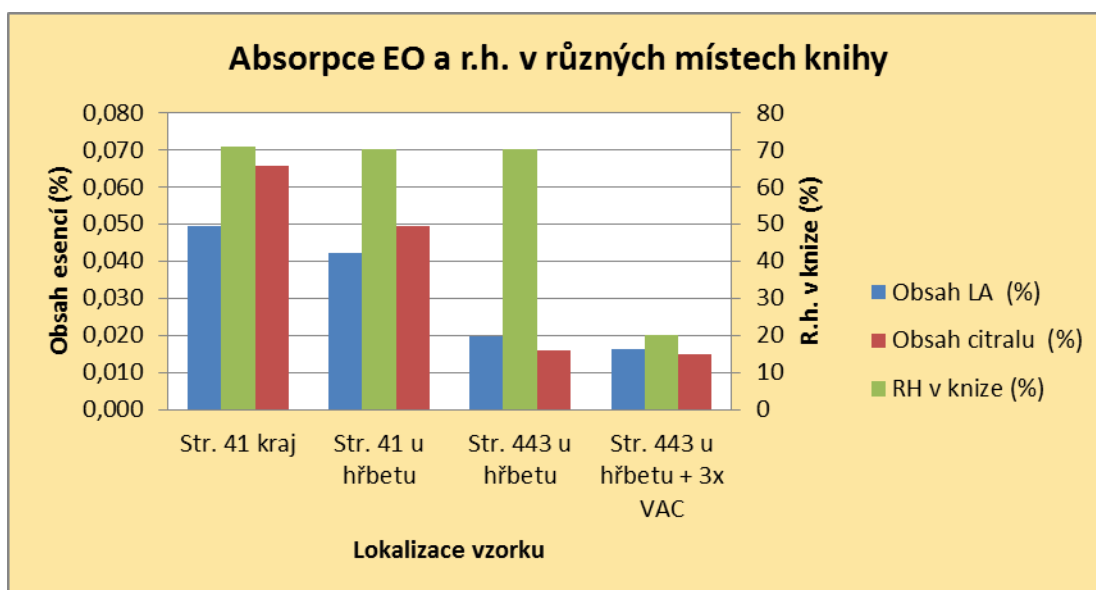
VZOREK	L srov.vzorek	ΔE po dezinfekci	Poznámka
Karton bělená buničina	93,7	0,72	vložené v knize
	93,7	1,08	pod knihou ve sloupci
	93,6	1,36	volně na sloupci
Kniha F (1907)	83,6	0,36	část tiskového archu z knihy
Kniha FV středně jemný (1928)	86,3	0,79	<i>dtto</i>
Kniha DFL (1923)	83,6	0,44	<i>dtto</i>

5.2. Desorpce EOS a vlhkosti z hmoty knih

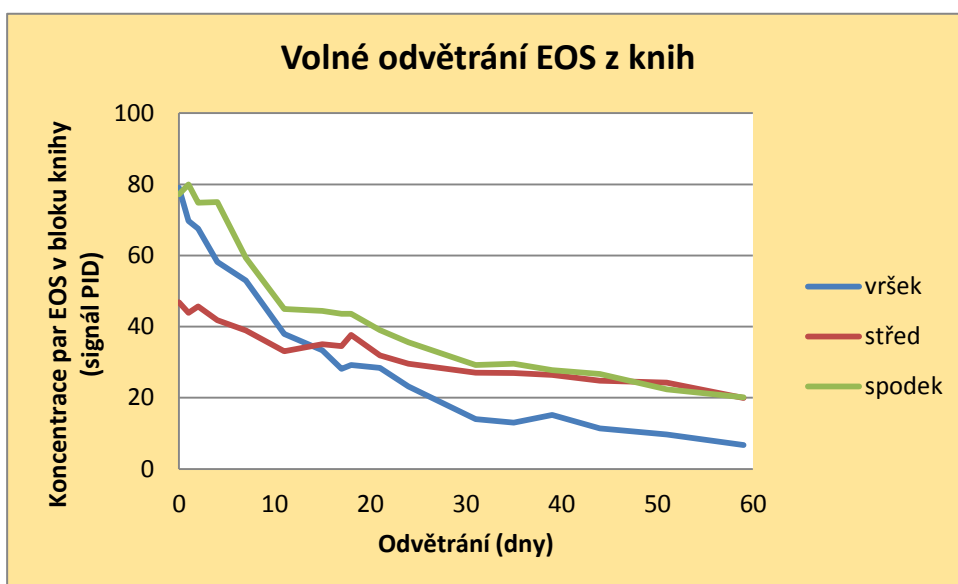
Po skončené dezinfekci byly ze silné knihy (900 stran) odebrány vzorky z různých míst a na stejných místech byla před tím změřena rovnovážná relativní vlhkost uvnitř knižního bloku. Poté byla kniha opět umístěna do komory, která byla 3x evakuována a znovu byla změřena rovnovážná vlhkost a odebrány vzorky na stanovení obsahu EOS. Vzorky okamžitě po odběru byly vloženy do vialek s n-heptanem a stanovení obsahu EOS bylo provedeno v Ústavu analytické chemie AV v Brně.

Výsledky jsou na obr. 12. Z nich je patrné, že na konci dezinfekce je obsah vlhkosti v bloku knihy rovnoměrně rozložen a po vakuovém odvětrání se výrazně sníží. Obsah EOS je uvnitř knižního bloku výrazně nižší než v okrajových partiích a vakuové odvětrání (3x po jedné hodině) je pomalé a málo efektivní. Další vakuování není účelné, protože by došlo k výraznému přesušení knih. Na druhé straně zbytkový obsah EOS v knihách je po určité době chrání před napadením mikroorganismy.

Na obr. 13 je zobrazen časový pokles signálu PID detektoru v různých místech dvou knih stejných jako výše zmíněná silná kniha. Signál je úměrný obsahu EOS. Knihy leží izolovaně na stole a měření se provádí nahoře asi 20 listů pod horní deskou, uprostřed knihy u strany 450 a dole asi 20 listů nad spodní deskou. Ze záznamu je vidět, že po vyjmutí je i po třech týdnech pobytu v komoře uvnitř silné knihy asi poloviční koncentrace EOS než v partiích pod deskami, a že odvětrání z nitra knihy je pomalejší než z vnějších partií. Dále je zřejmé, že přirozené odvětrání bude trvat několik měsíců. Pokud budou knihy narovnány na policích, bude proces ještě delší. Skutečnost, že citral se na vzduchu oxiduje na méně těkavé produkty, způsobí, že jejich odvětrání bude ještě pomalejší. Na druhé straně je známo, že tyto produkty mají vyšší fungicidní účinnost než citral, takže jejich přítomnost může zvyšovat ochranný efekt zbytkových EOS.



Obr. 13: Obsah EOS a vlhkosti v knize po skončené dezinfekci a poté po vakuovém odvětrání



Obr. 12: Volné odvětrání EOS z různých míst silné knihy po třítydenní dezinfekci.

Průměr hodnot ze dvou stejných knih

6. Závěr

Navržená technologie dezinfekce knih spočívá v působení intenzivně cirkulujících nasycených par směsi citralu a linalylacetátu za zvýšené relativní vlhkosti a teploty na knihy, které jsou umístěny ve vakuové komoře, vzájemně oddělené štěrbinou. Technologie byla ověřena kvantitativními testy sporicidního účinku na plíseň *P. aurantiogriseum* (jako zástupce nejrozšířenějšího rodu plísní vyskytujících se v depozitářích) a *A. brasiliensis* (jako zástupce nejodolnější plísně v depozitářích).

U plísně *P. aurantiogriseum* dochází ke snížení počtu životaschopných spor o 5 řádů a u odolné plísně *A. brasiliensis* ke snížení o dva až tři řády. Optické vlastnosti papíru po

dezinfekci vykazují barevnou změnu na hranici postřehnutelnosti. Přirozené odvětrání absorbovaných esencí z knih je pomalé (více než dva měsíce) a poskytuje dezinfikovaným knihám částečnou ochranu.

7. Odkazy

1. Neuvirt J., Užitný vzor „Zařízení na řízené dávkování par složek esenciálních olejů odpařovaných z kapalné fáze do uzavřených prostorů k testování jejich dezinfekční účinnosti“. zapsán 2.2.2015, ÚPV: 27761
2. Neuvirt J., Volejníková A., GB-funkční vzorek: „Zařízení na dezinfekci knih“. Dostupný na adrese: <http://www.nkp.cz/o-knihovne/projekty-a-programy/vyzkum-a-vyvoj-naki/ochrana-fondu-esencialni-oleje/ochrana-fondu>
3. Volejníková A., Nováková J., Neuvirt J.: „Metodika dezinfekce knih napadených plísněmi“. (Předloženo k certifikaci: srpen 2015).
4. Volejníková A., Nováková J., Neuvirt J.: „Metodika stanovení fungicidních účinků par esenciálních olejů a jejich složek na spory plísní na různých substrátech“. (Předloženo k certifikaci: červen 2015).